

Principes d'étude et de développement du réseau pour le raccordement des clients consommateurs et producteurs BT

Identification : **Enedis-PRO-RES_43E**

Version : **5**

Nb. de pages : **26**

Version	Date d'application	Nature de la modification	Annule et remplace
1	01/07/2009	Création	
2	01/03/2011	Ajout partie producteurs BT	ERDF-PRO-RES_15E
3	15/02/2017	Prise en compte de la nouvelle dénomination sociale d'Enedis	ERDF-PRO-RES_43E
4	08/02/2018	Nouveaux critères de choix des transformateurs HTA/BT et réglages des prises transformateurs	
5	02/08/2019	Modification des hypothèses de réglage de la prise des transformateurs HTA/BT pour les études	

Résumé / Avertissement

L'objet de ce document est de définir les principes d'étude et de développement du réseau dans le cadre du raccordement de clients consommateurs et producteurs BT.

SOMMAIRE

1. Objet de la note	4
2. Contexte	4
3. Environnement réglementaire et contractuel	5
3.1. Textes réglementaires concernant la réalisation des réseaux BT	5
3.2. Textes réglementaires concernant le raccordement des utilisateurs	5
3.3. Tenue de la tension	5
4. Structure des réseaux	5
4.1. Généralités	5
4.2. Postes et transformateurs HTA/BT	6
4.2.1. Généralités	6
4.2.2. Insertion dans la structure HTA	7
4.3. Départs BT	8
4.3.1. Généralités	8
4.3.2. Particularité des réseaux souterrains	9
5. Principes généraux concernant le développement des réseaux	9
5.1. Seuils de contrainte électrique	10
5.1.1. Principe des seuils de contrainte	10
5.1.2. Contrainte d'intensité	10
5.1.3. Contraintes de tension	10
5.1.4. Contrainte de gradient	12
5.2. Dimensionnement des ouvrages	12
5.2.1. Le dimensionnement économique	12
5.2.2. Transformateurs HTA/BT	13
5.2.3. Départs BT	14
6. Raccordement de nouveaux utilisateurs	14
6.1. Notion de raccordement de référence	14
6.1.1. Définition	14
6.1.2. Enjeu	15
6.2. Détermination du raccordement de référence	15
6.2.1. Tracé et section du réseau créé	15
6.2.2. Etude de raccordement d'un Site consommateur sans production	15
6.2.3. Etude de raccordement d'un Site producteur	16
6.2.4. Solutions possibles pour lever une contrainte	16
6.2.5. Solution retenue	17
6.3. Raccordement d'un ou deux utilisateurs individuels ≤ 36 kVA	17
6.3.1. Puissance de Raccordement	17
6.3.2. Sections économiques	17
6.4. Raccordement d'un utilisateur individuel > 36 kVA	17

6.4.1. Puissance de Raccordement	17
6.4.2. Sections économiques	17
6.5. Raccordement d'un immeuble (≥ 3 utilisateurs)	18
6.5.1. Puissance de Raccordement	18
6.5.2. Sections économiques	18
6.5.3. Immeuble raccordé au poste HTA/BT	18
6.6. Raccordement d'un collectif horizontal (≥ 3 utilisateurs).....	19
6.6.1. Puissance de Raccordement	19
6.6.2. Sections économiques	19
6.6.3. Dimensionnement du réseau BT à l'intérieur du lotissement	19
6.6.4. Lotissement raccordé au poste HTA/BT	20
Annexe – plan de tension	21
1. Tension nominale et variations de tension	21
1.1. Définition.....	21
1.2. Applications aux Réseaux de Distribution.....	21
1.3. Les engagements sur la qualité de la tension	22
2. Le réglage de la tension sur le réseau	22
2.1. L'action du régleur en charge.....	23
2.2. L'action des prises à vide.....	23
2.3. Détermination des paramètres du réglage de la tension	23

1. Objet de la note

Les décisions d'investissements sur le réseau sont initiées par des causes diverses :

- raccordement de nouveaux utilisateurs, impliquant une extension et, dans certains cas, une adaptation du réseau ;
- déplacement de réseau existant à la demande de tiers ;
- adaptation de réseau pour faire face à l'accroissement de la demande des utilisateurs existants ;
- remplacement d'éléments de réseau justifié par un nombre d'incidents supérieur à la moyenne ;
- remplacement d'éléments de réseau justifié par la mise en souterrain du réseau HTA ;
- aménagements esthétiques.

La nécessaire cohérence entre toutes les natures de développement du réseau, ainsi que le besoin d'objectivité et de non-discrimination, nécessite d'appliquer des principes décisionnels communs à tous les dossiers d'investissement sur le Réseau Public de Distribution.

L'objet de cette note est de décrire les principes et méthodes décisionnelles de développement du réseau BT.

2. Contexte

Avec 681 000 km de réseaux et 738 000 postes HTA/BT, les ouvrages BT sont une composante importante du patrimoine d'Enedis. Chaque année, 13 000 km de réseaux BT et 5 000 à 6 000 postes HTA/BT sont posés en moyenne. Les investissements sur les réseaux BT sont donc importants pour Enedis puisqu'ils représentent près de 1030 M€ en 2009 (hors article 8), sans compter un montant du même ordre investi dans des travaux réalisés sous maîtrise d'ouvrage de l'Electrification Rurale. Enedis n'est pas directement décideur pour ce type de travaux, mais, il se doit d'être force de proposition pour contribuer à la performance globale du système.

La légitimité de concessionnaire d'Enedis dépend fortement de son aptitude à maîtriser les problèmes de qualité de desserte perçus par les utilisateurs, à respecter l'ensemble de ses obligations réglementaires et contractuelles, et à respecter l'environnement. Les collectivités locales y sont de plus en plus attentives et les investissements contribuent largement à tous ces aspects.

Depuis le 1er juillet 2004, Enedis achète sur le marché de l'électricité l'énergie perdue sur le Réseau Public de Distribution, ce qui en fait le premier consommateur d'électricité français. Avec 20 TWh de pertes achetées par an en moyenne, pour un montant de 1,5 milliards d'euros environ, ces dernières constituent un poste de dépense très important pour Enedis. Compte tenu de la durée de vie très longue des ouvrages, les décisions prises ont un impact durable. Le souci d'Enedis sera donc en priorité de minimiser sur la durée le coût global de gestion du réseau. Ce coût global inclut l'investissement lui-même, le coût des pertes électriques (Fer, Joule), les dépenses d'exploitation (entretien, maintenance), et la valorisation de la défaillance subie par les utilisateurs.

Outre un souci de l'économie du système, les principaux éléments qui guident les décisions d'Enedis sont :

- la sécurité des personnes et des biens ;
- le fonctionnement durable du réseau dans des conditions techniques acceptables (d'où, notamment, la suppression des contraintes d'intensité) ;
- le respect de ses obligations réglementaires et contractuelles, notamment en ce qui concerne les fluctuations de la tension ;
- le respect de l'environnement ;
- sa capacité à réalimenter au mieux les clients en cas d'incident.

3. Environnement réglementaire et contractuel

3.1. Textes réglementaires concernant la réalisation des réseaux BT

La réalisation des réseaux BT est soumise à l'application de textes réglementaires :

- l'Arrêté du 17 mai 2001 dit « Arrêté Technique » (NF C 11-001) ;
- l'Arrêté du 24 décembre 2007 relatif aux niveaux de qualité et aux prescriptions techniques en matière de qualité des Réseaux Publics de Distribution et de transport d'électricité ;
- les normes NF, UTE et règles de l'art, dont les principales : NF C 11-201 et NF C 14-100 ;
- les cahiers des charges de distribution publique.

3.2. Textes réglementaires concernant le raccordement des utilisateurs

La réglementation des raccordements a fortement évolué et est soumise à l'application des textes réglementaires suivants :

- Loi N°2000-108 du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité ;
- Décret 2007-1280 du 28 août 2007 relatif à la consistance des ouvrages de branchement et d'extension des raccordements aux Réseaux Publics d'Électricité ;
- Décret 2003-229 du 13 mars 2003, arrêtés du 13 mars 2003 et modificatif du 6 octobre 2006 ;
- Arrêté du 28 août 2007 fixant les principes de calcul de la contribution ;
- Arrêté « Réfaction » du 17 juillet 2008, publié au Journal Officiel le 20 novembre 2008, fixant les taux de réfaction mentionnés dans l'arrêté du 28 août 2007 ;
- Décret 2008-386 du 23 avril 2008 relatif aux prescriptions techniques générales de conception et de fonctionnement pour le raccordement d'Installations de Production aux Réseaux Publics d'Électricité ;
- Arrêté du 23 avril 2008 relatif au raccordement des Installations de Production au Réseau Public de Distribution.

3.3. Tenue de la tension

La tension normale de distribution BT est régie par l'arrêté interministériel du 24 décembre 2007. Celui-ci fixe à 230/400 V le niveau de la tension nominale. Il définit des valeurs minimales et maximales admissibles au Point de Livraison d'un utilisateur (valeurs moyennées sur 10 mn), correspondant à une plage de [-10%, +10%] autour des valeurs nominales :

	Tension minimale	Tension maximale
En monophasé	207 V	253 V
En triphasé	360 V	440 V

Il définit également la valeur maximale admissible du gradient de chute de tension : 2%. Ce dernier correspond à la chute de tension supplémentaire générée en un point du réseau si 1 kW monophasé est rajouté en ce même point.

4. Structure des réseaux

4.1. Généralités

Les zones agglomérées correspondent à des densités de charge moyennes ou importantes. Toutes les rues sont canalisées d'un côté, voire même des deux côtés si le réseau est très dense. Le réseau existant peut être aérien ou souterrain. Le nouveau réseau est presque exclusivement souterrain et se substitue, au fur et à mesure que croissent les charges, au réseau aérien. Les terrains étant en général difficiles à trouver pour créer de nouveaux postes HTA/BT, les raccordements d'immeuble sont autant d'opportunités à étudier pour négocier un local avec le promoteur. Le reste du temps, au fur et à mesure que croissent les charges, l'augmentation de la taille des postes HTA/BT existants et du nombre de départs BT par poste HTA/BT est à privilégier.

Les zones non agglomérées correspondent à des densités de charge réduites ou moyennes. Elles se rencontrent jusqu'en périphérie des bourgs. Les charges sont disséminées et leur répartition sur le territoire aléatoire. Le réseau aérien est prédominant. Le nouveau réseau pourra être aérien ou souterrain.

4.2. Postes et transformateurs HTA/BT

4.2.1. Généralités

Un Réseau de Distribution BT est issu d'un poste HTA/BT, appelé aussi poste de distribution publique. Deux catégories de poste HTA/BT sont présentes sur les ouvrages de distribution publique :

- les postes HTA/BT sur poteau : ces postes HTA/BT de puissance limitée (50 à 160 kVA) sont alimentés via un réseau aérien HTA ;
- les postes HTA/BT préfabriqués ou en immeuble : ces postes HTA/BT sont raccordés via une liaison souterraine ou aéro-souterraine HTA :
 - postes HTA/BT préfabriqués ruraux compacts simplifiés (PRCS) : puissance de 50 à 160 kVA,
 - poste HTA/BT préfabriqué au sol simplifié (PSS) : puissance de 100 à 250 kVA,
 - poste HTA/BT préfabriqué à couloir de manœuvre (PAC) : puissance de 400 à 1 000 kVA,
 - poste urbain intégré à son environnement (PUIE) : puissance de 400 à 630 kVA,
 - poste HTA/BT en immeuble : puissance de 400 à 1 000 kVA.

Un poste contient :

- 1 transformateur,
- 1 à 2 départs pour un poste H61 ou un PRCS,
- 8 départs maximum par transformateur > 250 kVA,
- 4 départs maximum par transformateur ≤ 250 kVA (hors H61 et PRCS).

La création d'un nouveau poste HTA/BT résulte :

- soit de l'apparition d'une nouvelle charge ou production importante (raccordement) ;
- soit de l'évolution des charges ou productions existantes, provoquant une contrainte sur le réseau ;
- soit d'une mise en souterrain du réseau HTA (dans ce cadre, le PRCS est le successeur naturel du poste sur poteau : son coût est comparable et il s'insère dans les structures HTA souterraines).

Un poste HTA/BT neuf est placé de façon à desservir au mieux les charges à alimenter. Il doit respecter la structure HTA existante, ou la structure cible à 5 ans.

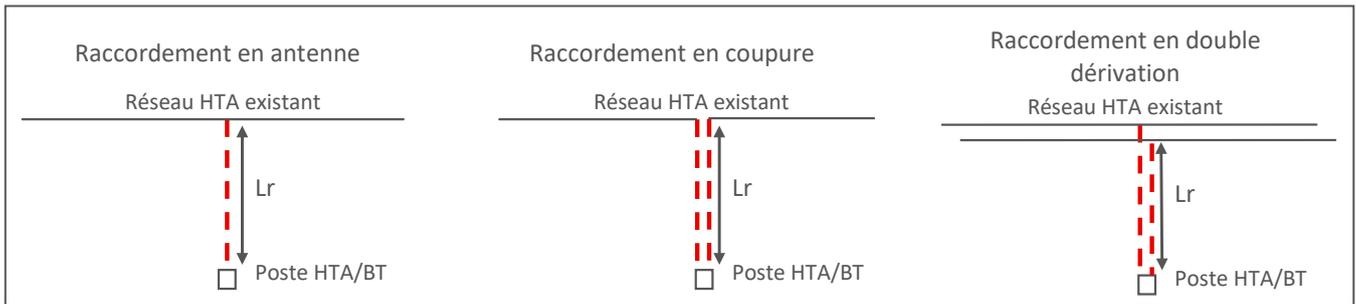
La position du poste HTA/BT neuf dépendra principalement d'un compromis entre le résultat de l'étude électrique et l'emplacement du terrain ou du local disponible pour l'y construire. L'article R332-16 du code de l'urbanisme (décret n° 70-254 du 20 mars 1970) prévoit la mise à disposition par les constructeurs et lotisseurs d'un terrain ou d'un local dans le cadre d'une opération immobilière.

Un poste HTA/BT doit être conforme aux prescriptions de la norme NF C 11-201, ainsi qu'à la Documentation Technique de Référence publiée par Enedis. Il doit être placé dans une zone non inondable ; si le seul emplacement disponible est situé dans une zone inondable, il sera mis hors d'eau minima. Enedis doit avoir à toute heure un accès facile et immédiat au poste HTA/BT pour effectuer les opérations nécessaires à l'exploitation du réseau. Les postes HTA/BT enterrés seront évités car leur réalisation est très onéreuse et les contraintes d'exploitation sont importantes.

4.2.2. Insertion dans la structure HTA

Les différents types de raccordement des postes HTA/BT sont rappelés ci-dessous :

- le raccordement en antenne (zones rurales et périurbaines) : le poste HTA/BT est raccordé au réseau HTA au moyen d'une seule canalisation ;
- le raccordement en coupure d'artère (zones périurbaines et urbaines) : le poste de livraison est inséré en série sur un départ HTA ;
- le raccordement en double dérivation (dans quelques grandes agglomérations) : le poste de livraison est desservi par deux câbles posés en parallèle, l'un de travail et l'autre de secours ; chacun de ces câbles est en dérivation sur l'artère qui l'alimente.



Un poste neuf doit respecter la structure HTA existante, ou la structure cible à 5 ans du schéma directeur (génie civil prévu pour un passage ultérieur en coupure d'artère, par exemple).

Enedis détermine le type de raccordement de poste HTA/BT en appliquant les règles ci-dessous¹, en fonction de deux critères :

- Sn (puissance nominale du transformateur HTA/BT) ;
- Lr (longueur de raccordement au réseau HTA, techniquement et administrativement réalisable, voir schéma ci-dessus).

Règles pour le raccordement d'un poste HTA/BT sur un départ HTA de type urbain

Un départ HTA de type urbain dessert majoritairement des communes en zone A ou B de l'Arrêté Qualité, ou est composé de moins de 8% de réseau HTA aérien en zone de base.

Type de départ HTA	Urbain en coupure d'artère		Urbain en double dérivation
Caractéristiques du raccordement HTA	Lr ≤ 250 m	Lr > 250 m	Quelle que soit la longueur Lr
Type de réseau HTA à réaliser	Souterrain		
Solution de raccordement du poste HTA/BT	Coupure d'artère	Coupure d'artère ou Antenne selon bilan technico-économique HTA le plus favorable	Double dérivation

¹ Ces règles sont semblables au raccordement des clients HTA (Enedis-PRO-RES_50E « Principes d'étude et règles techniques pour le raccordement d'une Installation de Consommation en HTA »).

Règles pour le raccordement d'un poste HTA/BT sur un départ HTA de type rural

Un départ HTA de type rural dessert majoritairement des communes en zone de base de l'Arrêté Qualité, et est composé de plus de 8% de réseau HTA aérien.

Caractéristiques du raccordement HTA	Raccordement sur principale, secondaire bouclée, portion souterraine de dérivation		Raccordement sur dérivation aérienne (hors principale/secondaire bouclée)	
	Lr ≤ 250 m	Lr > 250 m	Sn > 400 kVA ² ou Lr ≤ 250 m ou zone boisée	Sn ≤ 400 kVA ⁴ et Lr > 250 m et zone non boisée
Type de réseau HTA à réaliser	Souterrain		Souterrain	Aérien ou Souterrain
Solution de raccordement du poste HTA/BT	Coupure d'artère	Coupure d'artère ou Antenne selon bilan technico-économique HTA le plus favorable		Antenne

4.3. Départs BT

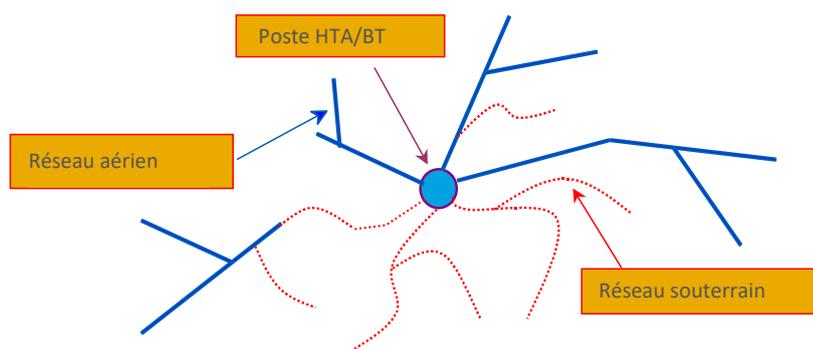
4.3.1. Généralités

L'architecture des réseaux BT est largement conditionnée par la voirie, la nature et la densité des constructions. Sauf cas particulier, la meilleure structure est la plus simple : de type arborescent, le moins de longueur possible, sections de conducteur uniques ou à défaut décroissantes.

Les réseaux BT peuvent être réalisés en lignes aériennes (torsadé) ou en câbles souterrains. La technique de réalisation doit être conforme aux dispositions du cahier des charges de concession en vigueur localement. Si la technique de réalisation est libre, c'est à dire non imposée par l'environnement ou par le cahier des charges de concession, elle sera à choisir en fonction :

- du dimensionnement électrique,
- de la densité de charge de la zone et de son évolutivité,
- du contexte esthétique,
- du moindre coût des travaux.

Le schéma ci-dessous illustre la structure des réseaux BT à réaliser en urbain comme en rural. Elle fonctionne quelle que soit la densité de puissance et permet d'assurer une continuité de service satisfaisante.

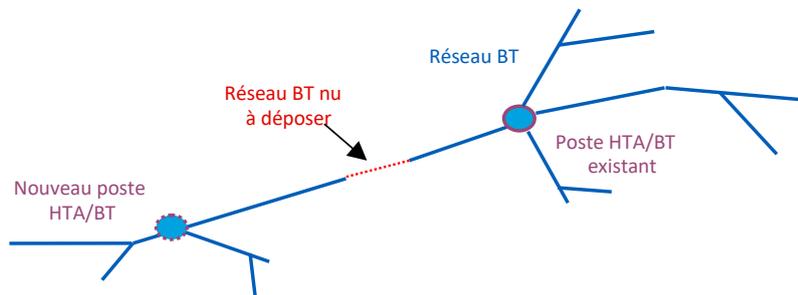


Il n'y a pas lieu de concevoir une structure de secours avec un autre réseau BT. La ré-alimentation des utilisateurs en cas d'incidents doit se faire en déroulant un ou plusieurs câbles provisoires ou en installant un groupe électrogène. Cependant, en créant un nouveau poste, une possibilité de réalimentation peut s'établir de fait. Cette possibilité ne sera utilisée que si le

² Le seuil de puissance nominale Sn = 400 kVA a été choisi en équivalence à P_{transitée} = 500 kW pour un poste client HTA.



réseau est en bon état et sans fil nu. Dans le cas contraire, le tronçon de réseau concerné sera déposé (voir schéma théorique ci-après).



Les contraintes électriques imposent une section minimale de conducteurs à respecter. Les sections à utiliser pour le réseau BT sont :

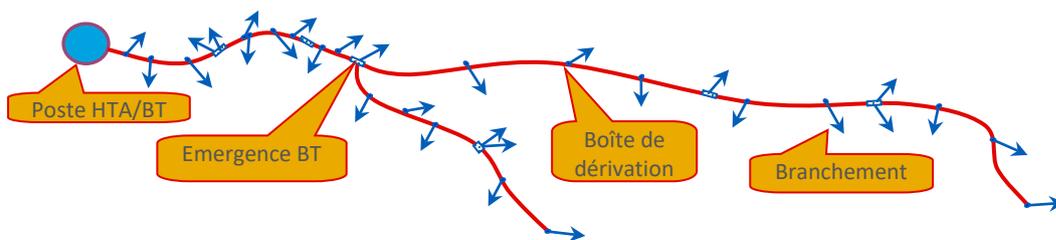
- en aérien, 70 et 150 mm² Alu,
- en souterrain, 150 et 240 mm² Alu, et éventuellement 95 mm² Alu (réservé aux voies non évolutives et peu chargées).

La section 95 mm² Alu sera toujours réservée aux voies non évolutives et peu chargées. En effet, les coûts des tranchées et des réfections de voirie sont tels, comparés au coût des câbles, qu'il ne sera jamais avantageux de poser une canalisation de petite section si son renforcement est à envisager quelques années plus tard.

4.3.2. Particularité des réseaux souterrains

Sur un réseau souterrain, il est nécessaire de prévoir des points de coupure intermédiaires (émergences), placés de manière à réduire le temps de coupure lors de dépannage du réseau. Pour faciliter le dépannage, il est recommandé de limiter :

- la distance entre deux émergences à 100 m environ,
- le nombre de boîtes de dérivation entre deux émergences à 4 environ.



5. Principes généraux concernant le développement des réseaux

Pour assurer la cohérence de développement du réseau, ainsi que pour répondre à son obligation d'objectivité et de non-discrimination, Enedis applique des principes de développement du réseau communs aux dossiers de raccordement et aux dossiers traités en délibéré³.

Les principes de développement du réseau BT sont identiques dans le cas du raccordement de consommateurs, du raccordement de producteurs ou dans le cas d'une modification du réseau délibérée. Pour cette raison, dans le reste de la note, on entendra au sens « d'utilisateur », indifféremment un consommateur ou un producteur.

³ Délibéré : dossiers à l'initiative d'Enedis (levée de contraintes suite à l'accroissement de fond des charges, etc.).

5.1. Seuils de contrainte électrique

5.1.1. Principe des seuils de contrainte

Les valeurs électriques énoncées ci-après (intensité, tension, gradient) sont calculées avec les outils développés par Enedis, basés sur une modélisation des charges et une description topologique du réseau.

5.1.2. Contrainte d'intensité

Sur les transformateurs HTA/BT

Un transformateur est en contrainte d'intensité lorsque sa charge est supérieure ou égale à 110% (puissance 2h). Dans le cadre d'une étude de producteur, la charge du transformateur est calculée en déduisant la charge minimale du réseau BT. Cette dernière est estimée à 20% de la charge maximale.

Sur les câbles

Un câble est en contrainte lorsque l'intensité max. transitant dans le câble est supérieure ou égale à son intensité max. admissible (puissance 10 mn). On utilise une intensité max. admissible « hiver » dans les études de raccordement de consommateur, et une intensité max. admissible « été » dans les études de producteur.

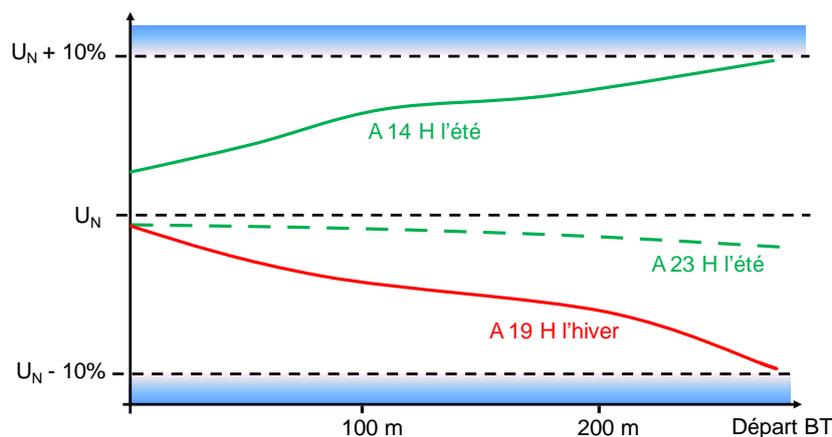
Dans le cadre d'une étude de raccordement de producteur, l'intensité max. transitée dans un câble est calculée en déduisant la charge minimale du réseau BT. Cette dernière est également estimée à 20% de la charge maximale.

L'intensité max. admissible du câble est réduite si le câble passe sous fourreau ou s'il est à proximité d'autres câbles (écartement de 20 cm) à partir de 10 m de parcours commun (Norme NF C 14-100). Le facteur de correction suivant doit être appliqué :

	Câble(s) enterré(s) directement	Câble(s) sous fourreau(x)
1 câble	1	0.8
2 câbles	0.85	0.7
3 câbles	0.78	0.62
4 câbles	0.72	0.58

5.1.3. Contraintes de tension

La tension fluctue tout au long de l'année en fonction des utilisateurs qui sont raccordés et de la configuration du réseau (voir schéma théorique ci-dessous).



Exemple de variation de la tension le long d'un départ BT avec des consommateurs et des producteurs, à différents moments de l'année

La présence des producteurs BT complexifie la recherche de solution technique :

- une solution technique doit être viable en période de pointe, où il y a un risque de contraintes de consommation (courbe de tension à 19h l'hiver sur le schéma ci-dessus) ;
- une solution technique doit aussi être viable en période de faible charge, où il y a un risque de contraintes d'injection (courbe de tension à 14h l'été sur le schéma ci-dessus).

Production décentralisée et période de pointe

La production décentralisée ne permet pas de soulager le réseau pour des contraintes aux périodes de pointe de consommation car la production est trop disséminée et pas assez en corrélation avec les pointes de consommation. De plus, selon la technologie, la puissance injectée sur le réseau peut varier à tout instant entre 0 et leur puissance maxi de production en fonction des conditions météorologiques.

Production décentralisée et période de faible charge

Les périodes de tension haute ont lieu lorsque les Installations de Production décentralisée injectent leur puissance maximale alors que le réseau est peu chargé en consommation à ce moment là.

Les producteurs étant quasi-exclusivement de type photovoltaïque, la puissance injectée sur un départ BT est synchrone. Pour cette raison, les puissances maximales de production sont toujours sommées sans être foisonnées.

La production BT est injectée sur le réseau BT au moyen d'onduleurs, qui sont réglés à la fabrication pour pouvoir injecter de l'énergie tant que la tension en sortie d'onduleur ne dépasse pas $U_n + 10\%$. En conséquence les producteurs BT ne peuvent pas normalement provoquer d'élévation de la tension BT au-delà de $U_n + 10\%$.

Principe du plan de tension

Pour garantir que la tension reste dans la plage $U_n \pm 10\%$ (voir Annexe – Plan de tension), le plan de tension d'Enedis prend en compte :

- le réglage de la tension au Poste Source ;
- le réglage optimisé de la tension sur le transformateur HTA/BT (le réglage de la prise);
- la chute ou l'élévation de tension dans le réseau HTA ;
- la chute ou l'élévation de tension BT (transformateur + ligne) ;
- 1,5% de chute de tension (ou d'élévation de tension) dans le branchement ;
- tolérance de 1% due à la chaîne de mesure et au fonctionnement discret du régleur.

Réglage de la prise des transformateurs HTA/BT

Dans le cadre d'un raccordement d'un nouvel utilisateur du réseau BT, l'hypothèse d'étude du réglage de la prise doit être établie conformément à la règle suivante :

- la chute (ou l'élévation) de tension totale est définie comme la somme algébrique des écarts en pourcentage par rapport à la tension nominale entre le niveau de tension HTA du Poste Source et le Point de Livraison, en prenant en compte l'ensemble des éléments cités dans le paragraphe « Principe du plan de tension » :
 - si des clients producteurs ET des clients consommateurs sont raccordés sur les réseaux BT à l'aval du transformateur, alors la prise sera à +2,5%,
 - si seuls des clients consommateurs sont raccordés sur les réseaux BT à l'aval du transformateur:
 - la prise sera à 5% si la chute de tension totale calculée avec la prise +2,5% est supérieure à 10 %,
 - la prise sera à 2,5% si la chute de tension totale calculée avec la prise +2,5% est inférieure à 10 %,
 - si seuls des clients producteurs sont raccordés sur les réseaux BT à l'aval du transformateur :
 - la prise sera à 0% si l'élévation de tension totale calculée avec la prise +2,5% est supérieure à 10 %,
 - la prise sera à 2,5% si l'élévation de tension totale calculée avec la prise +2,5% est inférieure à 10 %.

Tension basse

Pour respecter le seuil de tension basse, le plan de tension impose que la tension en tout point de raccordement au réseau (PRR) soit inférieure ou égale à $U_n - 8.5\%$, soit :

	En monophasé	En triphasé
Tension minimale au PRR	210,4 V	366 V

Par souci de simplicité, une chute de tension BT admissible est déterminée de manière à respecter les seuils ci-dessus. Cette chute de tension BT admissible est calculée par transformateur HTA/BT, en fonction du réglage de la tension au Poste Source et de la chute de tension dans le réseau HTA (plafonnée à 5% : seuil de dimensionnement du réseau HTA).

Il y a contrainte de tension basse lorsque la chute de tension BT (transformateur + ligne) dépasse la chute de tension BT admissible.

Remarque : pour les consommateurs ≥ 120 kVA disposant d'un comptage en limite de propriété, une chute de tension BT (transfo + ligne départ BT) allant jusqu'à la valeur (chute de tension BT admissible + 1.5%) est acceptable (chute de tension dans le branchement considérée comme nulle).

Tension haute

Le plan de tension est construit pour que le seuil de tension haute soit respecté en tenant compte des producteurs existants. Lorsqu'un nouveau producteur BT est raccordé, il faut donc vérifier son impact sur le plan de tension. Pour cela, on vérifiera que la tension **en tout point de raccordement au réseau** (PRR) ne dépasse pas $U_n + 8.5\%$, soit :

	En monophasé	En triphasé
Tension maximale au PRR	249,6 V	434 V

Pour faire ce calcul, on prend en compte :

- la tension au primaire du transformateur HTA/BT à $U_n + 4\%$;
- l'élévation de tension BT (transformateur + ligne) ;
- 1,5% d'élévation de tension dans le branchement ;
- tolérance de 1% due à la chaîne de mesure et au fonctionnement discret du régulateur.

Remarque : pour les producteurs raccordés en départ direct avec comptage en limite de propriété, une tension au PRR allant jusqu'à 440 V est acceptable (élévation de tension dans le branchement considérée comme nulle).

5.1.4. Contrainte de gradient

Le gradient de chute de tension est la chute de tension supplémentaire générée en un point du réseau si 1 kW monophasé est rajouté en ce même point. Il doit être $\leq 2\%$ pour assurer une qualité de tension correcte chez les clients consommateurs.

5.2. Dimensionnement des ouvrages

5.2.1. Le dimensionnement économique

Le dimensionnement des ouvrages n'est pas uniquement basé sur les seuils de contraintes électriques précisés dans les paragraphes précédents, mais prend en compte d'autres critères tels que les pertes électriques. Ce principe de dimensionnement économique, en lieu et place du seul dimensionnement technique, est largement répandu chez tous les exploitants de réseau électrique, qu'il s'agisse de Réseaux Publics de Distribution ou de réseaux privés. Les principes du calcul du dimensionnement économique figurent d'ailleurs très fréquemment dans les catalogues des fournisseurs de matériel : câbles, transformateur, etc.

Le principe de dimensionnement économique revient à choisir un palier technique⁴ qui est un optimum technico-économique. Le calcul est réalisé avec des hypothèses moyennes, comme décrit ci-dessous :

⁴ Par palier technique il faut entendre notamment les différentes sections de câble retenues par Enedis, la puissance unitaire des transformateurs HTA/BT, les génies civils de poste HTA/BT, etc.

- le palier technique retenu est celui qui présente le coût minimal sur la durée de vie de l'ouvrage (N), ce coût étant égal à la somme du coût d'établissement (E) et du coût d'exploitation (D) actualisé ;
- le coût d'établissement (E) de l'ouvrage est constitué de la somme des coûts d'achat du matériel, de ses accessoires y compris leur mise en œuvre et des travaux de pose ;
- le coût d'exploitation annuel de l'ouvrage (d) prend en compte les coûts de maintenance, les coûts de défaillance, ainsi que le coût des pertes électriques générées : pertes Joule dans les câbles, pertes Joule et fer dans les transformateurs. Ces pertes dépendent du dimensionnement de l'ouvrage (palier technique retenu) et du transit dans l'ouvrage. Les pertes sont achetées par Enedis sur le marché de l'électricité et valorisées ;
- les dépenses d'établissement et d'exploitation n'ayant pas la même échéance, elles ne peuvent être additionnées sans actualisation. Le taux d'actualisation financière a pour objectif de ramener les coûts annuels à des dépenses engagées à l'année initiale de la période d'utilisation ;
- l'expression du coût d'exploitation (D) sur la durée de vie de l'ouvrage (N), actualisé à l'année initiale d'établissement est (en considérant que le coût d'exploitation annuel (d) est payé en fin d'année tout au long de la durée de vie N de l'ouvrage) :

$$D = d [1/(1+t) + 1/(1+t)^2 + \dots + 1/(1+t)^N] = d [[(1+t)^N - 1] / (t (1+t)^N)] = d * A$$

Avec : **t** taux annuel d'actualisation 8%,
N durée de 30 ans par exemple pour les câbles
le terme **A** = $[(1+t)^N - 1] / (t (1+t)^N)$ est donné par les tables financières.

Le dimensionnement économique de l'ouvrage est celui qui minimise la valeur de E + D sur la durée de vie N.

5.2.2. Transformateurs HTA/BT

Pour choisir la puissance nominale d'un transformateur lors d'une mise en service ou après mutation, le domaine d'utilisation du tableau suivant est retenu. Ce dimensionnement optimise les pertes Fer et Joule et intègre une évolution des charges sur plusieurs années pour éviter l'installation d'un transformateur sous-dimensionné à la construction

Puissance nominale du transformateur	50 kVA ⁽¹⁾	100 kVA	160 kVA	250 kVA	400 kVA	630 kVA	1 000 kVA ⁽²⁾
Puissance maxi transitée dans le transformateur	30 kW	85 kW	135 kW	210 kW	335 kW	525 kW	835 kW

⁽¹⁾ L'utilisation des transformateurs 50 kVA est limitée aux zones peu denses et peu évolutives ; ils ne peuvent pas alimenter des utilisateurs de Puissance de Raccordement supérieure à 12 kVA monophasé ou 36 kVA triphasé.

⁽²⁾ L'utilisation des transformateurs 1000 kVA est limitée aux mises en service dans les zones urbaines denses et aux mutations de transformateur (marge d'évolution sur les transformateurs de 630 kVA).

Lors de la création ou mutation d'un transformateur pour le raccordement de Sites de production, la puissance maximale transitée dans le transformateur pourra égaler la nominale du transformateur, comme détaillé dans le tableau ci-après. En effet, dans le cas du raccordement d'une Installation de Production, l'hypothèse d'une évolution sur plusieurs années de la puissance maximale injectée n'est pas pertinente. Par ailleurs, le profil de pertes dans le transformateur est spécifique au cas du raccordement d'une Installation de Production.

Puissance nominale du transformateur	50 kVA ⁽¹⁾	100 kVA	160 kVA	250 kVA	400 kVA	630 kVA	1 000 kVA ⁽²⁾
Puissance maxi transitée dans le transformateur	50 kVA	100 kVA	160 kVA	250 kVA	400 kVA	630 kVA	1000 kVA

5.2.3. Départs BT

La section économique de câble sera utilisée systématiquement pour optimiser les pertes Joule. **Le 95 mm² Alu souterrain sera toujours réservé aux voies non évolutives (impasse peu chargée).**

Pour toute création de réseau réalisée pour alimenter de nouveaux utilisateurs, la section économique fonction de la Puissance de Raccordement et du type de raccordement sera mise en œuvre :

- raccordement d'utilisateurs ≤ 36 kVA (individuel, immeuble ou lotissement) ;

Section économique	Technique Aérienne		Technique Souterraine		
	70 mm ² Alu	150 mm ² Alu	95 mm ² Alu ⁵	150 mm ² Alu	240 mm ² Alu
Puissance de Raccordement	< 60 kVA	≥ 60 et < 120 kVA	< 60 kVA	< 120 kVA	≥ 120 kVA

- raccordement d'un utilisateur individuel > 36 kVA.

Section économique	Technique Aérienne		Technique Souterraine		
	70 mm ² Alu	150 mm ² Alu	95 mm ² Alu ⁵	150 mm ² Alu	240 mm ² Alu
Puissance de Raccordement	< 60 kVA	≥ 60 et < 120 kVA	< 60 kVA	< 90 kVA	≥ 90 kVA

Remarque : lorsque le réseau créé alimente à la fois la partie consommation et la partie production d'une Installation, la section utilisée sera la plus forte des deux sections économiques.

Dans le cas où une modification est à effectuer sur le réseau (adaptation du réseau pour lever une contrainte, renouvellement de câble...), la section économique ci-dessous sera utilisée, en tenant compte de la puissance maxi transitée à l'année 0 dans le tronçon de réseau concerné :

Section économique	Technique Aérienne		Technique Souterraine		
	70 mm ² Alu	150 mm ² Alu	95 mm ² Alu ⁵	150 mm ² Alu	240 mm ² Alu
Puissance maxi transitée dans le réseau	< 50 kW	≥ 50 kW	< 40 kW	< 70 kW	≥ 70 kW

6. Raccordement de nouveaux utilisateurs

6.1. Notion de raccordement de référence

6.1.1. Définition

La notion de raccordement de référence figure dans l'arrêté du 28 août 2007. C'est le raccordement qui :

- est nécessaire et suffisant pour satisfaire l'alimentation en énergie électrique des Installations du Demandeur à la Puissance de Raccordement demandée ;
- emprunte un tracé techniquement et administrativement réalisable, en conformité avec les dispositions du cahier des charges de la concession ;
- est conforme à la Documentation Technique de Référence publiée par Enedis ;
- minimise la somme des coûts de réalisation des Ouvrages de Raccordement.

Le raccordement de référence doit en particulier minimiser la somme des coûts de réalisation des Ouvrages de Raccordement, tout en respectant :

- les seuils de contrainte électrique pour le nouvel utilisateur raccordé, ainsi que pour les utilisateurs existants alimentés par le même transformateur HTA/BT que le nouvel utilisateur (§ 5.1) ;
- le dimensionnement technico-économique des ouvrages (§ 5.2) ;

⁵ Le 95 mm² Alu souterrain sera toujours réservé aux voies non évolutives (impasse peu chargée).

- les règles du plan de protection d'Enedis.

L'opération de raccordement de référence est proposée à l'utilisateur :

- pour répondre aux demandes de raccordement d'Installations de Production ou de Consommation ;
- pour modifier les caractéristiques électriques d'une alimentation principale existante.

La Puissance de Raccordement est celle définie par l'utilisateur, en cohérence avec les paliers éventuels du segment considéré. Pour un consommateur, elle correspond à la puissance maximale qu'il pourra souscrire. Pour un producteur, elle correspond à la puissance maximale qu'il pourra injecter sur le réseau BT.

6.1.2. Enjeu

Jusqu'au 1^{er} janvier 2009⁶, le coût de raccordement était indépendant des éventuels remplacements d'ouvrage à effectuer. Depuis, pour certaines opérations, les coûts de raccordement résultent de la solution technique réalisée (création et remplacement d'ouvrages). Ces coûts figurent dans le barème de facturation publié par Enedis.

Pour certaines opérations, les coûts de raccordement sont établis à l'issue d'une étude électrique.

Pour les autres opérations, le raccordement est facturé selon une formule simplifiée qui ne tient pas compte des renforcements ou création de poste HTA/BT éventuels.

6.2. Détermination du raccordement de référence

6.2.1. Tracé et section du réseau créé

Le raccordement sera étudié jusqu'au point du réseau BT existant le plus proche, ou jusqu'au poste HTA/BT le plus proche (existant ou à prévoir dans le cadre de l'étude), selon la Puissance de Raccordement demandée et la topologie du réseau.

Pour toute création de réseau réalisée pour alimenter le(s) nouveau(x) utilisateur(s), la section économique de câble fonction du type d'utilisateur (consommateur C5, C4, immeuble, lotissement, producteur) sera utilisée.

Le plan de protection des réseaux BT et la coordination des protections transformateur HTA/BT - réseau - branchement client doivent également être pris en compte dans le choix de la solution de référence.

6.2.2. Etude de raccordement d'un Site consommateur sans production

L'impact de la nouvelle Installation sur les ouvrages est étudié avec la Puissance de Raccordement, sans prendre en compte d'évolutivité des charges.

Les charges des consommateurs existants sont prises en compte avec leur facteur de foisonnement.

Il est nécessaire d'inclure dans cette étude les futurs utilisateurs (consommateurs et producteurs) présents sur la file d'attente (conformément au dispositif de gestion des files d'attente). Les charges des consommateurs dans la file d'attente sont prises en compte avec leur facteur de foisonnement.

Les charges des producteurs sont considérées comme découplées du réseau. En effet la production décentralisée ne permet pas de soulager le réseau pour des contraintes aux périodes de pointe : ces Installations produisent suivant leur propre logique, la puissance injectée sur le réseau pouvant varier à tout instant entre 0 et leur Puissance de Raccordement.

⁶ 1^{er} janvier 2009 :

- date de dépôt de l'AU pour les projets soumis à AU (AU : Autorisation d'Urbanisme) ;
- date de la demande de raccordement pour les projets non soumis à AU (arrêté du 17 juillet 2008).

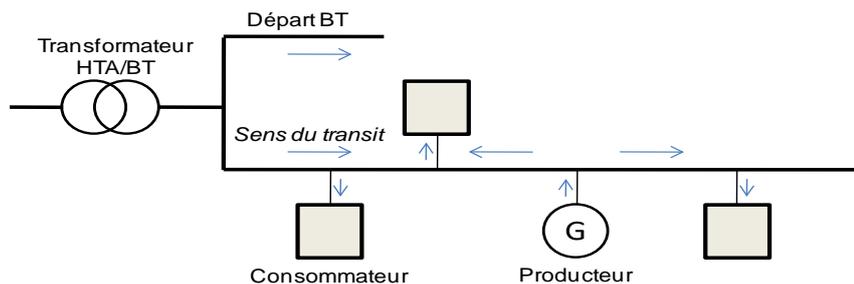
Les travaux pour lever des contraintes qui préexistent (dus à des consommateurs ou des producteurs existants) ne doivent pas être mis à la charge de l'opération de raccordement. Dans le cadre de l'étude, c'est à partir d'une situation remise à niveau par rapport aux seuils définis dans le §5.1 que la solution de référence est déterminée.

6.2.3. Etude de raccordement d'un Site producteur

L'effet du raccordement d'un producteur sur un départ BT est double :

- diminution ou inversion de la puissance résultante dans le départ BT, voire dans le transformateur HTA/BT ;
- élévation de la tension du départ, à cause de la modification des transits de puissance le long du départ.

Exemple de transits de puissance en présence d'un producteur BT



Dans le cas particulier d'un raccordement d'un Site producteur et consommateur à la fois, deux études d'impact doivent être faites :

- une étude avec les charges des clients consommateurs existants et en file d'attente⁷, et le nouveau Site consommateur ;
- une étude avec les charges minimales des clients existants, et en file d'attente, et du nouveau Site consommateur, les producteurs existants et le nouveau Site producteur.

L'impact de la nouvelle Installation de Production sur les ouvrages est étudié avec la Puissance de Raccordement, sans prendre en compte d'évolutivité des charges :

- les charges des consommateurs existants et en file d'attente sont prises en compte avec leur facteur de foisonnement ;
- les charges des producteurs existants et présents en file d'attente sont prises en compte sans facteur de foisonnement ;
- les transits (transformateur, câbles) sont calculés en déduisant la charge minimale de consommation du réseau BT. Cette dernière est estimée à 20% de la charge maximale.

Les travaux pour lever des contraintes qui préexistent (dus à des consommateurs ou des producteurs existants) ne doivent pas être mis à la charge de l'opération de raccordement. Dans le cadre de l'étude, c'est à partir d'une situation remise à niveau par rapport aux seuils définis dans le §5.1 que la solution de référence est déterminée.

6.2.4. Solutions possibles pour lever une contrainte

L'analyse et la résolution des contraintes sont menées dans l'ordre suivant :

- contrainte d'intensité sur le transformateur,
- contrainte d'intensité sur le réseau,
- contrainte de tension,
- contrainte de gradient.

En effet, la levée d'une contrainte en amont permet souvent de lever une contrainte en aval.

Les solutions possibles sont :

⁷ Voir la procédure décrite dans la Documentation Technique de Référence : Enedis-PRO-RAC_14E.

- le changement du transformateur HTA/BT,
- le changement de section des conducteurs,
- l'accroissement du nombre de départs,
- la création d'un poste HTA/BT supplémentaire.

6.2.5. Solution retenue

Enedis peut réaliser une opération de raccordement différente du raccordement de référence :

- s'il la réalise à la demande de l'utilisateur ou de la commune, le Demandeur prend à sa charge tous les surcoûts éventuels ;
- s'il décide de le faire de sa propre initiative, Enedis prend à sa charge tous les surcoûts éventuels.

Remarque : La réalisation d'une solution différente du raccordement de référence est possible, mais la recherche systématique par Enedis d'une solution alternative à sa charge financière reste de son initiative.

Exemple : création d'un départ BT neuf pour raccorder un client.

Si la zone d'étude est agglomérée et dense, et que la solution de référence est de réaliser un départ neuf en 150 mm² Alu souterrain, Enedis peut choisir dans certains cas de réaliser le tronçon en sortie de poste HTA/BT en 240 mm² Alu souterrain. Cette solution permettra de répondre à une croissance en profondeur (hors nouveaux raccordements). Le surcoût sera à la charge d'Enedis.

6.3. Raccordement d'un ou deux utilisateurs individuels ≤ 36 kVA

6.3.1. Puissance de Raccordement

L'utilisateur choisit sa Puissance de Raccordement en cohérence avec les paliers définis dans le barème de facturation. Pour un consommateur, la Puissance de Raccordement doit être supérieure ou égale à sa puissance souscrite. Pour une demande groupée de 2 utilisateurs, les Puissances de Raccordement seront additionnées.

Le Producteur choisit sa Puissance de Raccordement au kVA près, jusqu'à 6 kVA en monophasé ou 36 kVA en triphasé.

6.3.2. Sections économiques

Si le raccordement nécessite une création de réseau, il sera réalisé :

- en aérien, en 70 mm² Alu,
- en souterrain :
 - en 95 mm² Alu si la Puissance de Raccordement est < 60 kVA et que le réseau créé est dans une voie non évolutive (impasse...),
 - en 150 mm² Alu dans les autres cas.

6.4. Raccordement d'un utilisateur individuel > 36 kVA

6.4.1. Puissance de Raccordement

L'utilisateur choisit sa Puissance de Raccordement selon les règles du barème de facturation. Pour un consommateur, la Puissance de Raccordement doit être supérieure à la puissance souscrite et aux prévisions de dépassement de puissance souscrite.

Le producteur choisit sa Puissance de Raccordement au kVA près.

6.4.2. Sections économiques

Si le raccordement nécessite une création de réseau, le réseau est réalisé avec les sections ci-dessous :

Section économique	Technique Aérienne		Technique Souterraine		
	70 mm ² Alu	150 mm ² Alu	95 mm ² Alu (*)	150 mm ² Alu	240 mm ² Alu

Puissance de Raccordement	< 60 kVA	≥ 60 et < 120 kVA	< 60 kVA	< 90 kVA	≥ 90 kVA
----------------------------------	----------	-------------------	----------	----------	----------

Un utilisateur sera alimenté par un départ BT direct neuf à partir de 120 kVA de Puissance de Raccordement (obligatoire pour la sélectivité des protections). La puissance de ce départ est limitée à 250 kVA (NF C 14-100).

6.5. Raccordement d'un immeuble (≥ 3 utilisateurs)

Dans ce paragraphe, on désigne sous le terme d'immeuble toute opération de raccordement d'un branchement collectif vertical.

6.5.1. Puissance de Raccordement

Le promoteur définit en concertation avec Enedis, dans le respect de la NF C 14-100 :

- la puissance des utilisateurs domestiques, avec ou sans chauffage électrique,
- la puissance des utilisateurs non domestiques ≤ 36 kVA (y compris les services généraux), ainsi que la Puissance de Raccordement de chaque utilisateur > 36 kVA s'il y en a, comme au § 6.4.1.

La Puissance de Raccordement est calculée en faisant la somme des puissances. Seules les puissances des utilisateurs domestiques sont pondérées.

Pour étudier l'impact de l'immeuble sur les ouvrages électriques existants, on simule le raccordement d'une charge dont la puissance est égale à la Puissance de Raccordement de l'immeuble.

6.5.2. Sections économiques

Si le raccordement nécessite une création de réseau, le réseau est réalisé avec la section économique correspondant à la Puissance de Raccordement de l'immeuble :

Section économique	Technique Aérienne		Technique Souterraine		
	70 mm ² Alu	150 mm ² Alu	95 mm ² Alu (*)	150 mm ² Alu	240 mm ² Alu
Puissance de Raccordement	< 60 kVA	≥ 60 et < 120 kVA	< 60 kVA	< 120 kVA	≥ 120 kVA

(*) Réservé aux voies non évolutives (impasse...)

6.5.3. Immeuble raccordé au poste HTA/BT

- départ BT neuf

Un départ neuf alimentant l'immeuble doit être dimensionné pour que la chute de tension max. dans le réseau n'excède pas 5%⁸. Ce seuil intègre une évolution des charges sur plusieurs années pour éviter la réalisation d'un réseau saturé à la construction ;

- poste HTA/BT neuf

En fonction de la Puissance de Raccordement, la création d'un poste HTA/BT peut être nécessaire pour alimenter l'immeuble. La solution technique est déterminée par Enedis. Le génie civil du poste HTA/BT et le transformateur seront dimensionnés de façon à ce qu'ils puissent transiter la Puissance de Raccordement.

⁸ Dans le respect de la norme NF C 14-100.

6.6. Raccordement d'un collectif horizontal (≥ 3 utilisateurs)

Le paragraphe suivant ne s'applique pas aux zones d'activités et aux zones industrielles.

6.6.1. Puissance de Raccordement

Lorsque l'opération est un lotissement constitué de pavillons seuls, le promoteur définit en concertation avec Enedis, dans le respect de la NF C 14-100, la puissance correspondant à chaque parcelle. La Puissance de Raccordement est calculée en faisant la somme des puissances pondérées.

La NF C 14-100 ne traitant que des lotissements, lorsque l'opération est constituée de pavillons, d'immeubles d'habitation et de quelques utilisateurs non domestiques (petit centre commercial, crèche par exemple), le principe suivant sera appliqué. Le promoteur définit en concertation avec Enedis la puissance correspondant à :

- chaque pavillon : dans le respect de la NF C 14-100,
- chaque immeuble : selon le § 6.5.1,
- chaque utilisateur non domestique : selon les § 6.3.1 et 6.4.1.

La Puissance de Raccordement est calculée en faisant la somme des puissances. Seules les puissances des utilisateurs domestiques sont pondérées.

Ces deux types d'opération seront repris sous le terme « lotissement » dans les paragraphes suivants.

Pour étudier l'impact du lotissement sur les ouvrages électriques existants, on simule le raccordement d'une charge dont la puissance est égale à la Puissance de Raccordement du lotissement.

6.6.2. Sections économiques

Si le raccordement nécessite une création de réseau (en dehors de la desserte intérieure du lotissement), elle sera réalisée avec les sections ci-dessous :

Section économique	Technique Aérienne		Technique Souterraine		
	70 mm ² Alu	150 mm ² Alu	95 mm ² Alu (*)	150 mm ² Alu	240 mm ² Alu
Puissance de Raccordement	< 60 kVA	≥ 60 et < 120 kVA	< 60 kVA	< 120 kVA	≥ 120 kVA

(*) Réserve aux voies non évolutives (impasse...)

6.6.3. Dimensionnement du réseau BT à l'intérieur du lotissement

La section de chaque tronçon à l'intérieur du lotissement respectera le dimensionnement de la NF C 14-100 :

Section	Technique Souterraine		
	95 mm ² Alu (*)	150 mm ² Alu	240 mm ² Alu
Puissance transitée	< 60 kVA	< 120 kVA	≥ 120 et ≤ 180 kVA

(*) Réserve aux voies non évolutives (impasse...)

La puissance transitée dans un tronçon du réseau BT sera calculée en faisant la somme des puissances sur ce tronçon et celles des tronçons en aval, selon la même méthode que dans le § 6.6.1.

6.6.4. Lotissement raccordé au poste HTA/BT

- départ BT neuf

Un départ neuf alimentant un lotissement doit être dimensionné pour que la chute de tension max. dans le réseau n'excède pas 5%, la puissance du départ étant limitée à 180 kVA (NF C 14-100) ;

- poste HTA/BT neuf

En fonction de la taille de l'opération, le raccordement de référence peut nécessiter la création d'un ou plusieurs poste(s) HTA/BT. La solution technique est déterminée par Enedis.

Le génie civil du poste HTA/BT est dimensionné de manière à pouvoir accueillir un transformateur de puissance nominale immédiatement supérieure à la Puissance de Raccordement du lotissement. Ce dimensionnement intègre une évolution des charges sur plusieurs années pour éviter l'Installation d'un poste HTA/BT sous-dimensionné à la construction.

La puissance nominale du transformateur à installer est déterminée en utilisant le tableau du paragraphe 5.2.2 et en prenant les hypothèses suivantes :

- puissance totale foisonnée du projet,
- Cos_{ϕ} : 0.89,
- facteur de foisonnement au niveau du transformateur : 0.9.

Annexe – plan de tension

1. Tension nominale et variations de tension

1.1. Définition

Les niveaux de tension sur les réseaux électriques se caractérisent par une tension nominale U_0 (230/400 V en BT, généralement 15 kV ou 20 kV en HTA) et par un écart (%) toléré par rapport à cette tension nominale. Les écarts de tension relatifs ΔU (positifs ou négatifs) exprimés en % correspondent au rapport entre la variation absolue de la tension et la tension nominale. Ils s'additionnent algébriquement le long d'un réseau. Par simplification d'écriture, les chutes ou élévations de tension relatives exprimées en % sont notées :

$$\Delta U_{HTA} (\%) = \Delta U_{HTA \text{ absolue}} / U_{0 HTA}$$

$$\Delta U_{BT} (\%) = \Delta U_{BT \text{ absolue}} / U_{0 BT}$$

1.2. Applications aux Réseaux de Distribution

Pour un Point de Livraison d'un utilisateur raccordé en HTA ou en BT, la tension constatée en ce Point de Livraison s'exprime sous la forme $U_0 - \Delta U$, ΔU étant la somme des écarts de tension positifs ou négatifs apparaissant sur les différents éléments constituant le réseau en amont du Point de Livraison. C'est à dire les différents ΔU élémentaires positifs ou négatifs :

- dus au régleur du transformateur HTB/HTA du Poste Source,
- en ligne sur le réseau HTA,
- dans le transformateur HTA/BT,
- en ligne sur le réseau BT,
- dans le branchement du client.

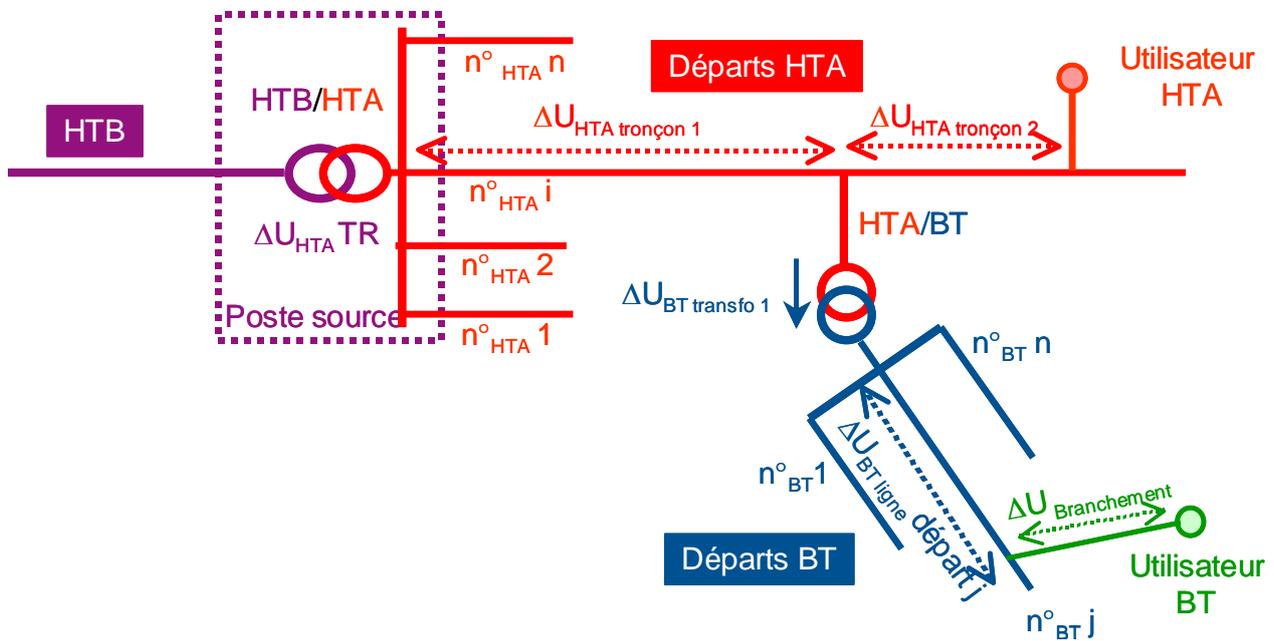


Fig. 1 - évolution de la tension le long des réseaux HTA et BT

Ces écarts de tension élémentaires dépendent :

- des transits d'énergie active et réactive dans chaque élément du réseau,
- des caractéristiques physiques des réseaux (longueurs, sections, matériaux...),
- des moyens de réglages de la tension qui permettent de compenser partiellement certains écarts de tension.

Ces écarts de tension peuvent présenter des caractéristiques de durée très différentes selon les phénomènes à leur origine :

- certains écarts de tension de durée courte sont inhérents au fonctionnement normal du réseau et ne peuvent être éliminés. Il s'agit notamment de ceux résultants de l'élimination de défaut électrique (quelques centaines de ms à quelques dizaines de secondes), ou de ceux résultants de l'action du régulateur en charge du transformateur HTB/HTA ;
- les écarts de tension résultant des variations normales des charges des utilisateurs du réseau sont pris en compte lors de la conception du réseau et des moyens de réglage associés, afin de les contenir dans une plage de valeurs. Ces écarts de tension sont caractérisés par leur valeur moyennée sur 10 minutes et sont dénommés dans la suite du texte sous le vocable de « Variations Lentes de tension ».

1.3. Les engagements sur la qualité de la tension

Les engagements contractuels ou réglementaires décrits ci-dessous portent sur les Variations Lentes de tension :

- un consommateur BT est considéré comme correctement desservi selon le décret 2007-1826 relatif au niveau de qualité sur les Réseaux Publics de Distribution et son arrêté d'application dès lors que la tension au Point de Livraison varie dans un intervalle entre +10% et -10% par rapport à la tension nominale ($U_0 = 230$ V en monophasé BT et 400 V en triphasé BT) ; cette tension est mesurée en valeurs moyennées sur un pas de temps de 10 minutes selon une méthode conforme à la norme CEI 61400-4-30 ;
- pour un utilisateur HTA, les clauses d'accès au réseau des contrats stipulent que la tension doit être au Point de Livraison comprise entre + 5% et - 5% autour d'une valeur contractuelle, elle aussi comprise entre + 5% et - 5% autour de la tension nominale HTA U_0 ; la mesure de la tension s'effectue selon la même méthode que ci-dessus.

Exemple pour $U_0 = 20$ kV :

- tension contractuelle U_{contrat} : U_{contrat} est située dans la plage $U_0 \pm 5\%$ (19000 à 21000 V), par exemple 19500 V ;
- tension de fourniture U_f : pour la valeur de $U_{\text{contrat}} = 19500$ V, U_f est située dans la plage 18525 V – 20475 V.

Le Point de Livraison auquel s'appliquent les engagements relatifs à la qualité de la tension est défini soit en BT par la norme NF C 14-100, soit pour la HTA par les documents contractuels. A titre d'exemple :

- en BT, pour les Installations dont la Puissance de Raccordement est inférieure ou égale à 36 kVA, le Point de Livraison est constitué par les bornes aval de l'appareil général de protection coupure (disjoncteur de branchement) ;
- en HTA, pour un utilisateur desservi par un réseau souterrain en concession, le Point de Livraison est constitué par la tête de câble du raccordement de ce réseau sur le poste de livraison de l'utilisateur ;
- en HTA, pour un utilisateur desservi par un réseau aérien en concession, le Point de Livraison est constitué par les chaînes d'ancrage du réseau aérien en concession sur le support utilisé pour le raccordement du câble desservant le poste de livraison de l'utilisateur.

2. Le réglage de la tension sur le réseau

Pour compenser les écarts de tension, il existe sur les réseaux deux dispositifs de réglage de la tension situés au niveau des postes de transformation :

- le régulateur en charge pour les postes HTB/HTA,
- les prises à vide pour les postes HTA/BT.

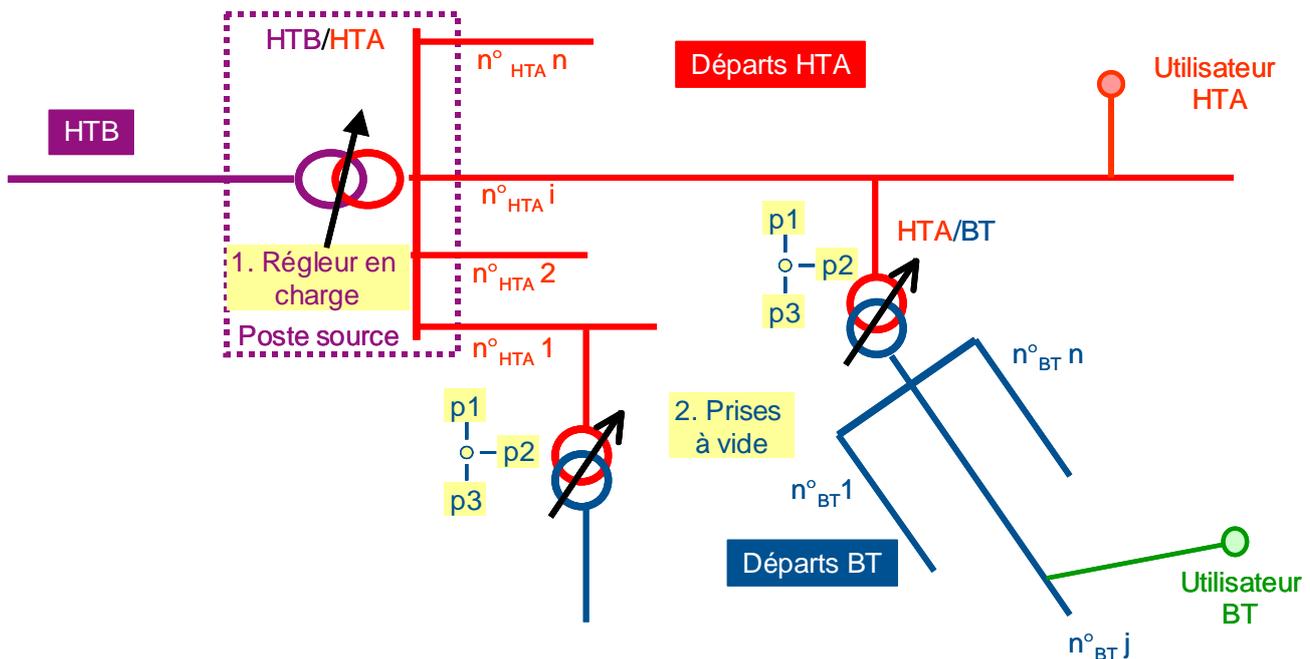


Fig. 2 - dispositifs de réglage de la tension en HTA et BT

2.1. L'action du régleur en charge

Les transformateurs HTB/HTA sont équipés d'un régleur en charge qui permet d'insérer ou de retrancher des spires d'enroulements supplémentaires, et modifier ainsi le rapport de transformation. Cet ajustement se fait de façon discontinue, par pas dénommé « passage de prise ».

Ce dispositif ajuste le rapport de transformation en temps réel et sans coupure pour satisfaire à la loi de réglage de la tension. La vitesse de réglage est de l'ordre d'une minute pour le premier passage de prise puis de l'ordre d'une dizaine de secondes pour le passage des prises suivantes dans la foulée du premier passage.

La loi de réglage consiste à maintenir le niveau de la tension sur le jeu de barres HTA à une valeur de consigne (choisie dans la plage $U_0 + 2\%$ à $U_0 + 4\%$). Ceci permet à la fois d'effacer les variations lentes de tension dues au réseau HTB ainsi que celles internes dues au transformateur HTB/HTA, et de compenser une partie des variations de tension sur le réseau.

2.2. L'action des prises à vide

Chaque transformateur HTA/BT est équipé de trois prises de transformation fixes. Chacune des prises correspond à une valeur différente du rapport de transformation apportant ainsi un terme correctif constant à la tension BT issue du circuit secondaire du transformateur.

2.3. Détermination des paramètres du réglage de la tension

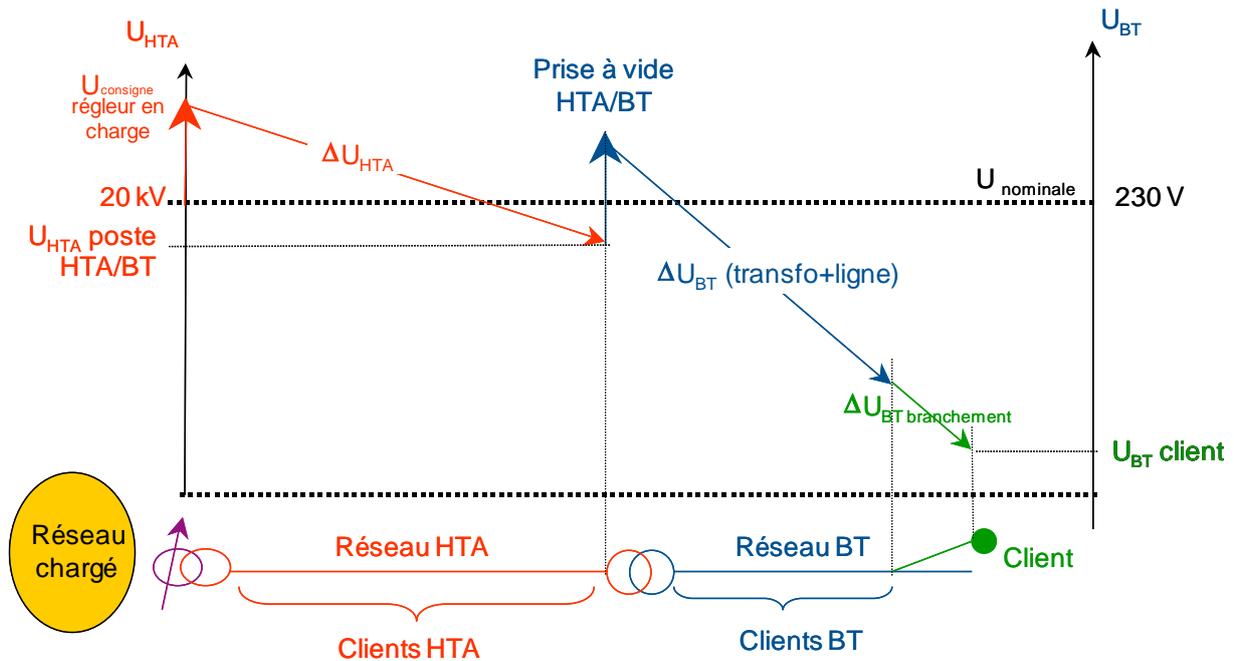
Pour que les variations lentes de tension des utilisateurs HTA et BT restent dans une plage contractuelle (cas des utilisateurs HTA) ou réglementaire (décret 2007-1826 pour les consommateurs BT), les paramètres de réglages de la tension doivent être optimisés globalement, afin de prendre en compte que :

- le plan de tension du réseau BT est directement lié au plan de tension du réseau HTA ;
- le plan de tension du réseau HTA est rendu indépendant du plan de tension du réseau HTB grâce au régleur en charge du transformateur HTB/HTA, dans les limites de réglage de ce dernier.

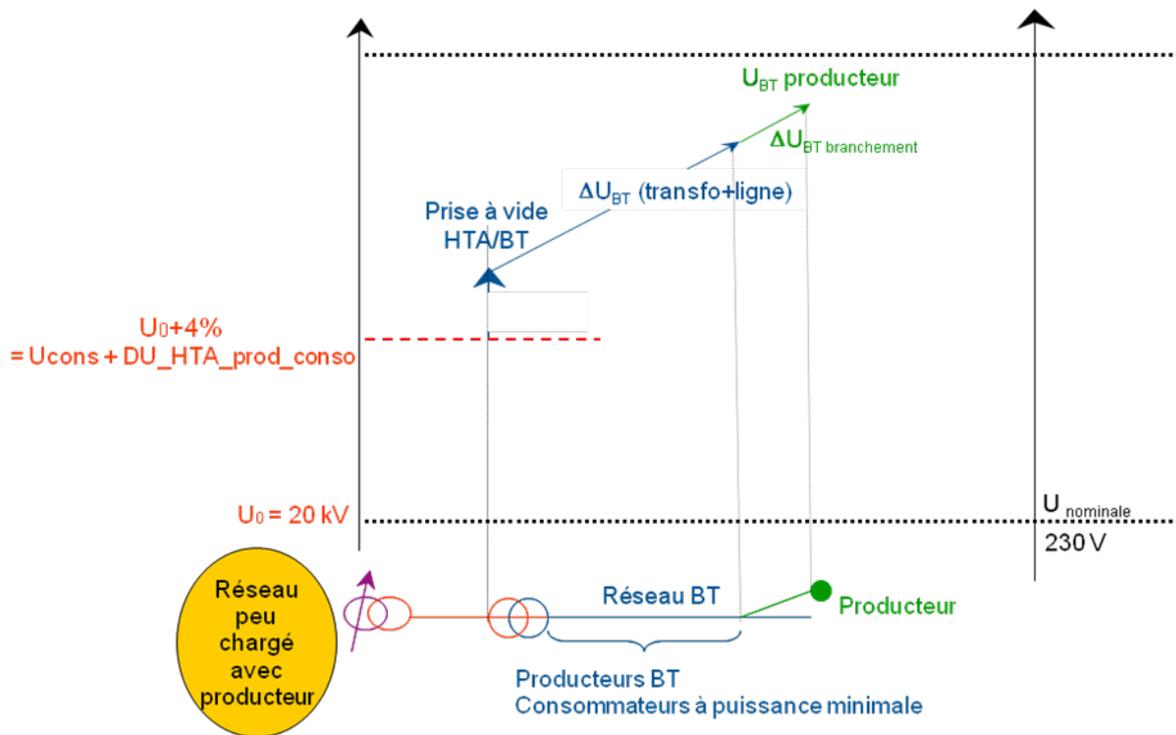
Définir les paramètres de réglage du plan de tension du Réseau de Distribution Public consiste donc à définir :

- la valeur de consigne du régleur en charge du transformateur HTB/HTA, cette valeur de consigne s'appliquant alors à l'ensemble des départs HTA desservis par ce transformateur, en schéma normal et en secours ;
- la prise de réglage de chaque transformateur HTA/BT.

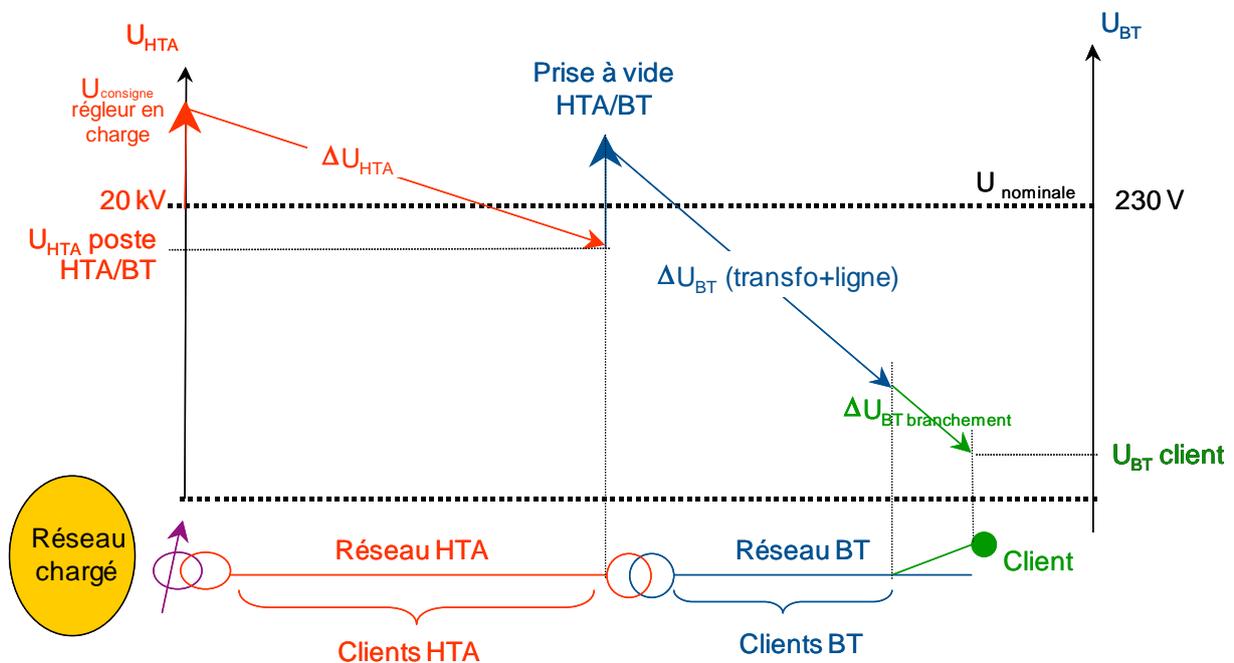
Le choix de ces paramètres doit assurer au Point de Livraison le respect de la tension en variations lentes lors des différentes situations que connaîtra le Réseau de Distribution au cours de l'année :



- aux périodes de faible charge sur les réseaux avec des chutes de tension en ligne quasi-nulles (voire négatives en présence de producteurs), éviter pour les consommateurs BT les surtensions au-delà de : $U > U_0 + 10\%$, et pour les utilisateurs HTA, le dépassement de la tension de fourniture $U_f > U_{contrat} + 5\%$;



- aux périodes de forte charge, avec ou sans la production décentralisée, éviter pour les consommateurs BT des chutes de tension en deçà de : $U < U_0 - 10\%$ et pour les utilisateurs HTA, une tension $U_f < U_c - 5\%$.



Outre les différentes hypothèses de charge sus mentionnées, le niveau de tension en variations lentes de tension doit respecter les engagements contractuels ou réglementaires quelle que soit la position de l'utilisateur sur le réseau :

- utilisateur HTA proche du poste HTB/HTA ou en extrémité du départ HTA ;
- consommateur BT proche du poste HTA/BT ou à l'extrémité du départ BT, et ce quelle que soit la position du poste HTA/BT sur le réseau HTA (proche du poste HTB/HTA ou en extrémité du départ HTA).

Réglage de la consigne du régleur en charge du transformateur source HTB/HTA

La consigne du régleur en charge est prise à $U_0 + 4\%$. En présence de production significative sur le même réseau HTA que celui alimentant le transformateur HTA/BT, la consigne peut être abaissée jusqu'à $U_0 + 2\%$ de manière à maintenir la tension HTA sur le réseau HTA en dessous de $U_0 + 5\%$ en tout point.

Réglage de la prise à vide du transformateur HTA/BT

L'hypothèse d'étude du réglage de la prise à vide doit être établie de manière à éviter que la tension d'alimentation des utilisateurs BT ne passe en dessous de $U_0 - 10\%$ en période de forte charge d'une part et que la tension d'alimentation des utilisateurs BT ne passe au-dessus de $U_0 + 10\%$ en période de forte production, d'autre part. On règle donc le transformateur HTA/BT sur une prise à vide correspondant à une tension au secondaire permettant d'assurer le respect de ces deux exigences.

Dans le cadre d'un raccordement d'un nouvel utilisateur du réseau BT, les hypothèses d'étude du réglage des prises à vide sont fixées conformément aux préconisations du paragraphe 5.1.3 de ce document.